

ГУАП
Кафедра №3

Отчет

Защитен с оценкой

AM
U

Преподаватель

доктор, к.ф-м.н., доктор
деятель, уч. степень,
звание

28.02.2018
подпись, дата

Ю.М. Царев
инициалы, фамилия

Отчет о лабораторной работе №2
"Машинка Атвуда"
по курсу: Общая физика

Работу выполнила

Студентка гр.

vk.com/club152685050
vk.com/id446425943

Санкт-Петербург

2018

Лабораторная работа № 2
"Машина Атвуда"
Протокол измерений

Студент группы
Преподаватель

У

Царев Ю.М

Параметры приборов

Название прибора	Предел измерений	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность
Секундомер	1 мс	99,999 с	—	0,001 с
Линейка	0,1 см	50 см	—	2 мм

vk.com/club152685050
vk.com/id446425943

$S_1 = 13$ см

Таблица 1

N	1	2	3	4	5
S_2 , см	21	22	23	24	25
t_2 , с	0,634 0,621 0,625 0,666 0,650 0,662 0,683 0,682 0,681 0,728 0,709 0,725 0,730 0,827 0,808				

$S_1 = 18$ см

Таблица 2

N	1	2	3	4	5
S_2 , см	19	18	17	16	15
t_2 , с	0,421 0,428 0,421 0,434 0,431 0,432 0,446 0,454 0,449 0,462 0,466 0,461 0,483 0,479 0,485				

$m_1 = 60,4$ г $m_2 = 82$ г

Дата 21.02.2018

Взвеш-

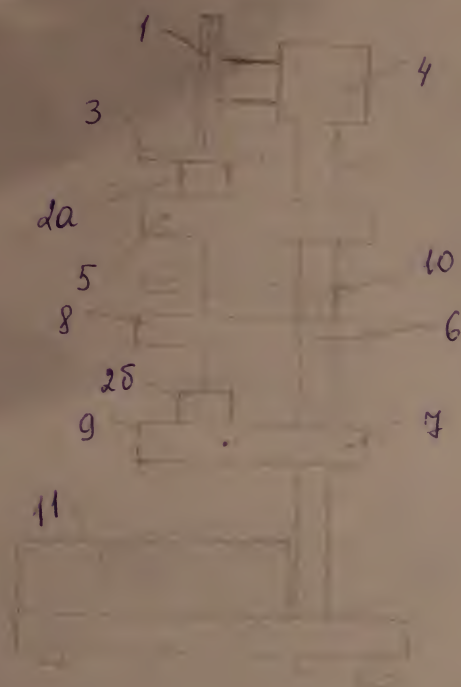
Подпись студента
Подпись преподавателя

① Цель работы:

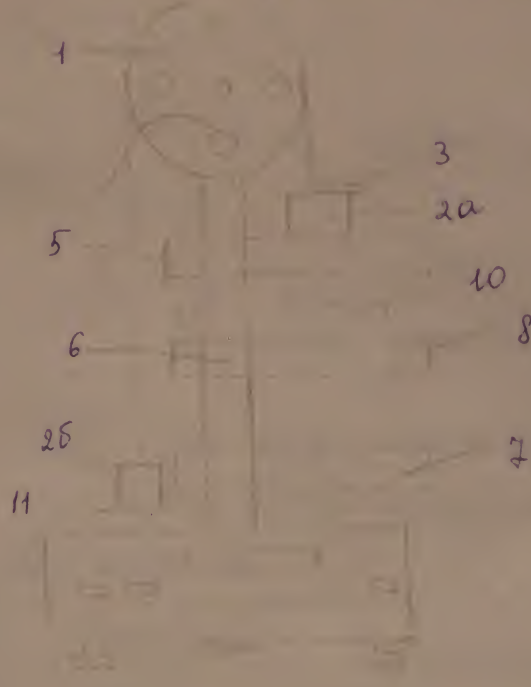
Исследование равномерного и равноускоренного прямолинейного движения.

② Описание лабораторной установки

а) Вид установки сбоку



б) Вид установки спереди



1 - блок 1, через который проходит нить с большим грузом 2a и 2б; 3 - дополнительный небольшой грузик - колесо; 4 - электромеханизм; 5, 6, 7 - три подвижных направляющих; 8, 9 - фотодиодные датчики; 10 - дополнительная полка; 11 - лицевая панель установки.

Параметры установки

Таблица 2.1

Прибор	Цена деления	Предел измерений	Систематическая погрешность
Секундомер	1 мс	99,999с	0,001 с
Линейка	0,1 см	50 см	2 мм

vk.com/club152685050

vk.com/id446425943

5) Примеры вычислений

По формуле (2) скорость при равномерном движении

$$v = \frac{0,21}{0,634} = 0,331 \left(\frac{м}{с} \right)$$

По формуле (1) - ускорение при равномерном движении

$$a = \frac{0,21^2}{2 \cdot 0,13 \cdot 0,634} = 0,268 \left(\frac{м}{с^2} \right)$$

По формуле (2) скорости при равноускоренном движении

$$v = \frac{0,19}{0,427} = 0,445 \left(\frac{м}{с} \right)$$

По формуле (1) ускорение при равноускоренном движении

$$a = \frac{0,19^2}{2 \cdot 0,427 \cdot 0,18} = 0,235 \left(\frac{м}{с^2} \right)$$

6) Вычисление погрешностей

6.1) Вывод формулы систематической погрешности

$$\Delta f = \left| \frac{\partial f}{\partial x_1} \right| \cdot \Delta x_1 + \left| \frac{\partial f}{\partial x_2} \right| \cdot \Delta x_2 + \left| \frac{\partial f}{\partial x_3} \right| \cdot \Delta x_3 \dots$$

$$\Delta f = \left| f'_{x_1} \right| \cdot \Delta x_1 + \left| f'_{x_2} \right| \cdot \Delta x_2 + \left| f'_{x_3} \right| \cdot \Delta x_3 \dots$$

$$\Delta v = v \left(\frac{\Delta s_2}{s_2} + \frac{\Delta t}{t} \right); \quad \Delta a = a \left(\frac{\Delta s_1}{s_1} + 2 \frac{\Delta s_2}{s_2} + \frac{2 \Delta t}{t} \right),$$

где $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ - частные производные ф-ии $f(x_1, x_2, x_3 \dots)$ по соответствующей переменной x_i , $\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_3 \dots$ - систематическая погрешности прямых измерений; f'_{x_i} - частная производная ф-ии $f(x_1, x_2, x_3 \dots)$ по соответствующей переменной x_i ; Δf - систематическая погрешность косвенного измерения.

6.1.1) Вычисление погрешностей по введенным формулам:

$$\Delta v_1 = v_1 \left(\frac{\Delta s_2}{s_2} + \frac{\Delta t}{t_1} \right) = 0,331 \cdot \left(\frac{0,002}{0,21} + \frac{0,001}{0,634} \right) = 0,0037 = \left(\frac{м}{с} \right)$$

$$\Delta v_{15} = v_{15} \left(\frac{\Delta s_2}{s_2} + \frac{\Delta t}{t_{15}} \right) = 0,309 \cdot \left(\frac{0,002}{0,25} + \frac{0,001}{0,808} \right) = 0,0029 \left(\frac{м}{с} \right)$$

$$\Delta a_1 = a_1 \left(\frac{\Delta s_1}{s_1} + 2 \frac{\Delta s_2}{s_2} + \frac{2 \Delta t}{t} \right) = 0,267 \cdot \left(\frac{0,002}{0,13} + \frac{2 \cdot 0,002}{0,21} + \frac{2 \cdot 0,001}{0,634} \right) = 0,0160 \left(\frac{м}{с^2} \right)$$

по Н. М. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ

$$a_{15} = a_{15} \left(\frac{v_{s1}}{s_1} + 2 \frac{v_{s2}}{s_2} + \frac{2 v_t}{t} \right) = 0,297 \cdot \left(\frac{0,002}{0,13} + \frac{2 \cdot 0,002}{0,25} + \frac{2 \cdot 0,001}{0,827} \right) = 0,012 \left(\frac{м}{с^2} \right)$$

Данные вычисления были найдены для равномерного движения, где v_{s1}, v_{s2}, v_t даны в условии и равны:

$$v_{s1} = v_{s2} = 0,002 м$$

$$v_t = 0,001 с$$

$$v_{r1} = v_1 \left(\frac{v_{s2}}{s_2} + \frac{v_t}{t_1} \right) = 0,445 \cdot \left(\frac{0,002}{0,19} + \frac{0,001}{0,427} \right) = 0,0057 \left(\frac{м}{с} \right) = 0,006 \frac{м}{с}$$

$$v_{r15} = 0,309 \left(\frac{0,002}{0,15} + \frac{0,001}{0,485} \right) = 0,0047 \left(\frac{м}{с} \right) = 0,005 \left(\frac{м}{с} \right)$$

$$a_1 = 0,235 \left(\frac{0,002}{0,18} + \frac{2 \cdot 0,002}{0,19} + \frac{2 \cdot 0,001}{0,427} \right) = 0,02026543 \approx 0,020 \left(\frac{м}{с^2} \right)$$

$$a_{15} = 0,129 \left(\frac{0,002}{0,18} + \frac{2 \cdot 0,002}{0,15} + \frac{2 \cdot 0,001}{0,485} \right) = 0,01112873 \approx 0,011 \left(\frac{м}{с^2} \right)$$

Данные вычисления были найдены для равноускоренного движения, где $v_{s1} = v_{s2} = 0,002(м); v_t = 0,001(с)$

6.2 Для вычисления квадратичной погрешности и для среднего квадратического отклонения понадобятся значения $v_{ср}$ и $a_{ср}$ (среднее значение скорости и ускорения).

По формуле (3),(4) найдем среднее значение для равномерного движения

$$v_{ср} = \frac{(0,331 + 0,338 + 0,336 + 0,330 + 0,352 + 0,332 + 0,337 + 0,337 + 0,338 + 0,330 + 0,338 + 0,331 + 0,324 + 0,302 + 0,309)}{15} = 0,354 \left(\frac{м}{с} \right)$$

$$a_{ср} = \frac{(0,267 + 0,273 + 0,271 + 0,280 + 0,286 + 0,281 + 0,298 + 0,298 + 0,299 + 0,304 + 0,312 + 0,305 + 0,329 + 0,290 + 0,297)}{15} = 0,299 \left(\frac{м}{с^2} \right)$$

vk.com/club152685050

vk.com/id446425943

По формуле (3),(4) найдем среднее значение для равноускоренного движения

$$v_{ср} = \frac{(0,445 + 0,444 + 0,451 + 0,415 + 0,427 + 0,417 + 0,381 + 0,374 + 0,379 + 0,346 + 0,343 + 0,347 + 0,310 + 0,313 + 0,309)}{15} = 0,380 \left(\frac{м}{с} \right)$$

$$a_{ср} = \frac{(0,235 + 0,234 + 0,238 + 0,207 + 0,209 + 0,208 + 0,18 + 0,177 + 0,179 + 0,154 + 0,152 + 0,154 + 0,129 + 0,13 + 0,129)}{15} = 0,181 \left(\frac{м}{с^2} \right)$$

6.3) Средняя квадратическая погрешность отдельного измерения

$$S_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (v_i - v_{cp})^2}{N-1}}$$

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (a_i - a_{cp})^2}{N-1}}$$

где N - кол-во измерений;

6.3.1 Для таблицы 4.1

Скорость груза

$$S_v = \sqrt{\frac{(0,331-0,331)^2 + (0,338-0,331)^2 + (0,336-0,331)^2 + (0,330-0,331)^2 + (0,352-0,331)^2 + (0,332-0,331)^2 + (0,337-0,331)^2 + (0,337-0,331)^2 + (0,338-0,331)^2 + (0,330-0,331)^2 + (0,338-0,331)^2 + (0,331-0,331)^2 + (0,324-0,331)^2 + (0,302-0,331)^2 + (0,309-0,331)^2}{14}} = \sqrt{\frac{0,006418}{14}} = 0,015 \left(\frac{m}{c} \right)$$

Ускорение груза

$$S_a = \sqrt{\frac{(0,267-0,231)^2 + (0,273-0,231)^2 + (0,271-0,231)^2 + (0,280-0,231)^2 + (0,286-0,231)^2 + (0,281-0,231)^2 + (0,298-0,231)^2 + (0,298-0,231)^2 + (0,299-0,231)^2 + (0,304-0,231)^2 + (0,312-0,231)^2 + (0,305-0,231)^2 + (0,329-0,231)^2 + (0,290-0,231)^2 + (0,297-0,231)^2}{14}} = \sqrt{\frac{0,014868}{14}} = 0,03908 \left(\frac{m}{c^2} \right)$$

6.3.2 Для таблицы 4.2

Скорость груза

$$S_v = \sqrt{\frac{(0,445-0,380)^2 + (0,444-0,380)^2 + (0,451-0,380)^2 + (0,415-0,380)^2 + (0,417-0,380)^2 + (0,381-0,380)^2 + (0,374-0,380)^2 + (0,379-0,380)^2 + (0,346-0,380)^2 + (0,343-0,380)^2 + (0,347-0,380)^2 + (0,310-0,380)^2 + (0,313-0,380)^2 + (0,309-0,380)^2}{14}} = \sqrt{\frac{0,036247}{14}} = 0,056 \left(\frac{m}{c} \right) \approx 0,05 \frac{m}{c}$$

vk.com/club152685050
vk.com/id446425943

Ускорение груза:

$$S_a = \sqrt{\frac{(0,235-0,181)^2 + (0,234-0,181)^2 + (0,238-0,181)^2 + (0,207-0,181)^2 +$$

$$(0,209-0,181)^2 + (0,208-0,181)^2 + (0,180-0,181)^2 + (0,177-0,181)^2 +$$

$$(0,179-0,181)^2 + (0,154-0,181)^2 + (0,152-0,181)^2 + (0,154-0,181)^2 +$$

$$(0,129-0,181)^2 + (0,130-0,181)^2 + (0,129-0,181)^2} = \sqrt{\frac{0,021492}{14}} = 0,0392 \left(\frac{m}{c^2}\right) \approx 0,09 \left(\frac{m}{c^2}\right)$$

6.4 Среднее квадратическое отклонение

$$S_{vcp} = \sqrt{\frac{(v_1 - v_{cp})^2 + (v_2 - v_{cp})^2 + \dots + (v_N - v_{cp})^2}{(N-1) \cdot N}} = \frac{S_v}{\sqrt{N}}$$

$$S_{aep} = \sqrt{\frac{(a_1 - a_{cp})^2 + (a_2 - a_{cp})^2 + \dots + (a_N - a_{cp})^2}{(N-1) \cdot N}} = \frac{S_a}{\sqrt{N}}$$

6.4.1 Для таблицы 4.1

$$S_{vcp} = \frac{S_v}{\sqrt{N}} = \frac{0,015}{\sqrt{15}} = 0,004 \left(\frac{m}{c}\right)$$

$$S_{aep} = \frac{S_a}{\sqrt{N}} = \frac{0,039}{\sqrt{15}} = 0,010 \left(\frac{m}{c^2}\right)$$

$$S_v \quad \Theta_v \quad S_{cp} \quad \Theta_v$$

vk.com/club152685050
vk.com/id446425943

Для таблицы 4.2

$$S_{vcp} = \frac{S_v}{\sqrt{N}} = \frac{0,05}{\sqrt{15}} = 0,013 \left(\frac{m}{c}\right)$$

$$S_{aep} = \frac{S_a}{\sqrt{N}} = \frac{0,09}{\sqrt{15}} = 0,023 \left(\frac{m}{c^2}\right)$$

В данной работе проводится измерение: скорости и ускорения, проверяем неравенства: $S_{vi} \leq \Theta_v$, $S_{vcp} < \Theta_v$; $S_a \leq \Theta_a$; $S_{aep} < \Theta_a$

Для таблицы 4.1

$$0,015 > 0,003, \text{ т.е. } S_v > \Theta_v$$

$$0,004 \approx 0,003, \text{ т.е. } S_{vcp} \approx \Theta_v$$

$$0,04 > 0,012, \text{ т.е. } S_a > \Theta_a$$

$$0,010 < 0,012, \text{ т.е. } S_{aep} < \Theta_a$$

Для таблицы 4.2

$$0,05 > 0,005, \text{ т.е. } S_v > \Theta_v$$

$$0,013 > 0,005, \text{ т.е. } S_{vcp} > \Theta_v$$

$$0,09 > 0,011, \text{ т.е. } S_a > \Theta_a$$

$$0,023 > 0,011, \text{ т.е. } S_{aep} > \Theta_a$$

Данные неравенства говорят о том, что либо допущены незначительные промахи в измерениях, либо они вызваны из-за высших измерительных приборов на процесс измерения

6.5) Полная погрешность

В случае проведения технических испытаний имеют дело со случайными по природе величинами, происходит разброс измеряемых параметров по различным причинам, тогда случайная погрешность серии измерений и систематическую погрешность связывают с несовершенством измерительных приборов объединяют в полную погрешность:

$$\Delta \bar{V} = \sigma_V + k \cdot S_{\bar{V}}, \text{ где}$$

k - коэффициент Стьюдента, для $n=10$ равной 2,3

$\Delta \bar{V}$ - полная погрешность измерений.

vk.com/club152685050

Тогда, для равномерного движения: vk.com/id446425943

$$\Delta \bar{V} = \sigma_{V_{\text{ср}}} + k \cdot S_{V_{\text{ср}}} = 0,003 + 2,3 \cdot 0,004 = 0,0122 \approx 0,012 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

$$\Delta \bar{a} = \sigma_{a_{\text{ср}}} + k \cdot S_{a_{\text{ср}}} = 0,012 + 2,3 \cdot 0,010 = 0,035 \approx 0,04 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right)$$

Для равноускоренного движения:

$$\Delta \bar{V} = \sigma_{V_{\text{ср}}} + k \cdot S_{V_{\text{ср}}} = 0,005 + 2,3 \cdot 0,013 = 0,0349 \approx 0,04 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

$$\Delta \bar{a} = \sigma_{a_{\text{ср}}} + k \cdot S_{a_{\text{ср}}} = 0,011 + 2,3 \cdot 0,023 = 0,011 + 0,0529 \approx 0,0639 \approx 0,07 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right)$$

На графике 7.1 для равномерного движения через

(крестики) удалось провести прямую, систематическое отклонение имеет лишь один, а число точек и линия прямой совпадают, значит экспериментальные данные подтверждают теоретическую зависимость; А также в следствие опытов каждое измерение величин приемлемо.

На графике 7.2 для равноускоренного движения через

(палочки)

удалось провести прямую, систематическое отклонение нет, а число точек и линия прямой примерно одинаково

Экспериментальные данные подтверждают теоретическую зависимость.

7) Графическое изображение результатов

$S_{2, H}$

0,25

0,24

0,23

0,22

0,21

0,62 0,62 0,64 0,66 0,68 0,7 0,72 0,74 0,76 0,78 0,8 0,82 0,84 t_2, c

Рис 7.1 Зависимость равноускоренного движения

vk.com/club152685050

vk.com/id446425943

4,0 4,2 4,3 4,4 4,5 4,6 4,7 4,8 4,9 5 5,1 5,2 5,3 5,4 5,5 t, c

Рис 7.2 Зависимость равноускоренного движения

ТОВ
ОСЧ
ОСН
ЭТК
ОМК

$$v_{cp} = \frac{v}{c} = 0.004, 0.006, 0.008, 0.010, 0.012, 0.014, 0.016, 0.018, 0.020, 0.022, 0.024, 0.026, 0.028, 0.030, 0.032, 0.034, 0.036, 0.038, 0.040, 0.042, 0.044, 0.046, 0.048, 0.050, 0.052, 0.054, 0.056, 0.058, 0.060, 0.062, 0.064, 0.066, 0.068, 0.070, 0.072, 0.074, 0.076, 0.078, 0.080, 0.082, 0.084, 0.086, 0.088, 0.090, 0.092, 0.094, 0.096, 0.098, 0.100$$

$\overline{D}_r \frac{u}{c} 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006 \quad 9,006$
 $\overline{D}_a \frac{u}{c} 0,020 \quad 9,020 \quad 9,021 \quad 9,018 \quad 9,019 \quad 9,015 \quad 9,015 \quad 9,015 \quad 9,015 \quad 9,014 \quad 9,013 \quad 9,014 \quad 9,011 \quad 9,012 \quad 9,011$
 $\overline{v}_{cp} =$
 $\overline{a}_{cp} =$

⑧ Zubog:

- Сравнимая с методикой исследования равномерного и равноускоренного движения
- Скорость грузов при равномерном движении $V = (0,334 \pm 0,012) \frac{m}{c}$ с вероятностью $P = 95\%$
- Скорость грузов при равноускоренном движении $V = (0,38 \pm 0,04) \frac{m}{c}$ с вероятностью $P = 95\%$
- Ускорение грузов при равномерном движении $a = (0,43 \pm 0,04)$ с вероятностью $P = 95\%$
- Ускорение грузов при равноускоренном движении $a = 0,18 \pm 0,01$ с вероятностью $P = 95\%$
- Из проведенных опытов, видно, что не каждая скорость из таблицы 4.1 отличается от V_{cr} , или из таблицы 4.2 от V_{cr2} меньше чем на Δv или на Δv_2 ; это значит, что скорость зависит от измеренной величины. Такая же ситуация с ускорением
- Экспериментальные данные подтверждают теоретическую зависимость, что видно из графиков для равноускоренного и равномерного движения.